

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОМ РАФИНИРОВАНИИ МЕДИ

Гаева Н.М., Смирнова О.В., Рудой В.М., Останин Н.И.

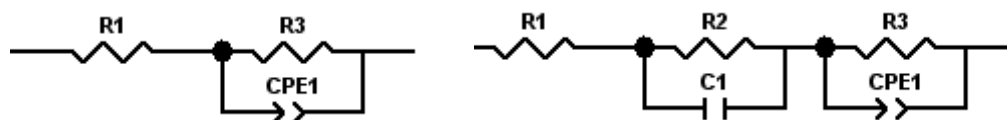
УрФУ

e-mail: el-chem@mail.ustu.ru

Электрохимические технологии, хотя и относятся к одним из самых универсальных, являются достаточно энергоемкими. Например, удельный расход электроэнергии при электролитическом рафинировании меди составляет около 350 кВт·час/т. Сравнительно высокие затраты энергии связаны, в частности, с увеличением напряжения на ванне вследствие введения в электролит поверхностно-активных добавок, которые необходимы для получения меди заданного качества и высокой степени химической чистоты. Концентрация добавок практически на всех предприятиях аналитически не контролируется, что нередко приводит к их передозировке, повышению напряжения на ванне и включению добавок в катодную медь. Работ, посвященных количественному изучению адсорбции и влиянию концентрации ПАВ на качество и чистоту катодной меди, сравнительно мало. В данной работе проведено исследование влияние одной из широко применяемых добавок – желатина, на адсорбируемость и поляризуемость катода при осаждении меди из кислого сульфатного электролита.

Исследования проводили в растворе состава: CuSO_4 0,70 моль/л и H_2SO_4 1,53 моль/л (раствор Ч). В качестве добавок использовали хлорид аниона в количестве 40 мг/л (Ч+Cl⁻) и желатин 5 мг/л (Ч+Cl⁻+Ж). Адсорбируемость и влияние на катодную поляризацию исследовали на приборе SOLARTRON 1280C в режиме измерения электродного импеданса и циклической вольтамперометрии. Все измерения проводили в ячейке с медным анодом и медным катодом. При измерении импеданса поляризация составляла – 0,05 В относительно разомкнутой цепи.

Для анализа импедансных измерений использовали два типа эквивалентных схем:



Левая схема описывает поведение межфазной границы в переменном токе в отсутствие добавок, а правая в тех же условиях, но в присутствии добавок.

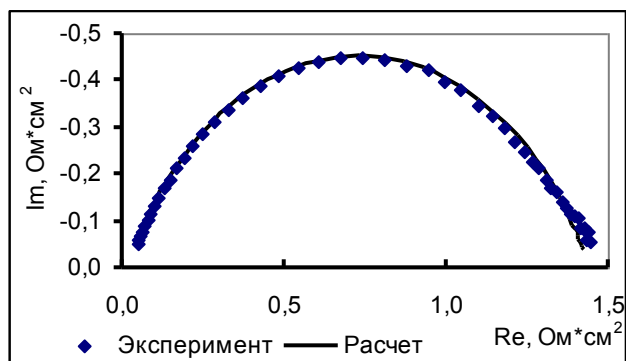
Физический смысл, который можно вложить в электрические эквиваленты этих схем следующие: R1 соответствует омическому сопротивлению измерительной ячейки, которое, в основном, определяется сопротивлением раствора, R3 – сопротивление переноса заряда, отнесенное к единице поверхности электрода, CPE – это элемент постоянной фазы, который может характеризовать, как реактивные, так и активные составляющие электродного импеданса. В ряде случаев он позволяет лишь формально передать форму зависимости импе-

данса электродного процесса от частоты, но нередко его составляющие могут быть интерпретированы содержательно. В частности, в наших исследованиях этот элемент отражает стадию перехода ионов, находящихся вблизи поверхности в адсорбированное состояние. Фактически этот элемент отражает адсорбцию ионов на фрактальной поверхности электрода. В силу обобщенного характера этого элемента он одновременно учитывает поток ионов, обусловленный их разрядом на электроде. Это приводит к формированию элемента с распределенными параметрами. Элементы R2 и C1 являются сосредоточенными параметрами и отражают соответственно сопротивление адсорбции и адсорбционную емкость. Оба элемента учитывают адсорбцию, как ионов хлора, так и желатина. Попытка включения этих элементов в эквивалентную схему, описывающую импеданс медного электрода в чистом растворе, показала, что хотя сумма квадратов отклонений возросла незначительно, но ошибка в определении избыточных элементов составила, 16 % (для R2) и 40 % (для C1).

Ниже приведена таблица средних значений параметров эквивалентных схем, соответствующим растворам различного состава.

Раствор	R1, $\text{Ом}\cdot\text{см}^2$	R2, $\text{Ом}\cdot\text{см}^2$	C1, $\text{Ф}\cdot\text{см}^{-2}$	R3, $\text{Ом}\cdot\text{см}^2$	CPE1-T	CPE1-P	Отклонение
Ч	0,0210	-	-	1,474	0,0033	0,722	0,038
Ч+Cl ⁻	0,0244	0,0489	0,995	0,368	0,0065	0,721	0,020
Ч+Cl ⁻ +Ж	0,0215	0,0550	0,527	0,764	0,0078	0,692	0,140

Качество аппроксимации экспериментальных годографов и воспроизводимость в серии однотипных измерений хорошее (рис. 1-3). Лишь для раствора, содержащего желатин наблюдался закономерный временной дрейф параметров импеданса, что связано с изменением во времени активности желатина. Это обстоятельство отмечалось рядом исследователей. Ниже приведены циклические вольтамперные кривые, которые также подтверждают изменение поляризуемости электрода по мере изменения активности желатина (рис. 4).



1. Импеданс в чистом растворе

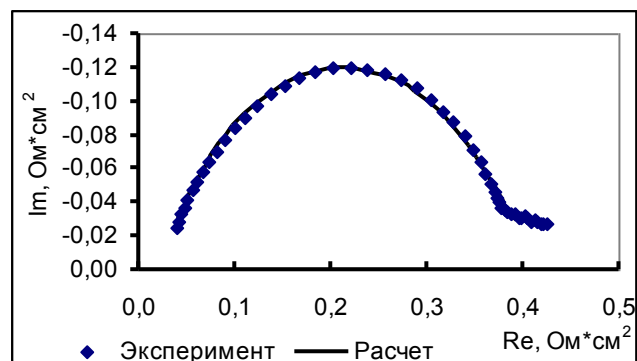


Рис. 2 Импеданс с добавкой хлорид аниона

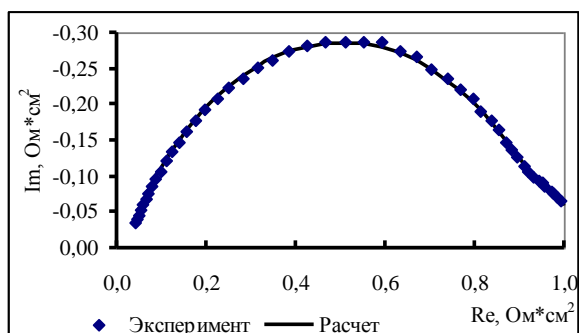


Рис. 3. Импеданс в растворе с добавкой желатина

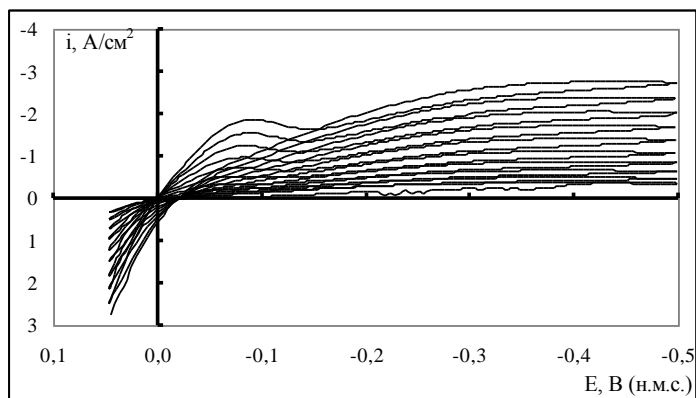


Рис. 4. Циклические вольтамперограммы. Вследствие уменьшения активности желатина, каждая последующая поляризационная кривая смещается в область более высоких плотностей тока.

Воспроизводимость измерений и чувствительность результатов к наличию добавки позволяют надеяться, что с помощью использованных методов можно будет контролировать концентрацию добавки *in situ* непосредственно в электролизной ванне.

РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ НА ОСНОВЕ АИН С ШИМ

Гиззатуллин Д.В.

Южно-Уральский государственный университет

h3r816@mail.ru

С целью проверки принципов работы преобразователя [1; 2] и его компьютерной модели [3] было проведено экспериментальное исследование характеристик компенсированного двенадцатифазного выпрямительного агрегата с пятой и седьмой гармониками напряжения на конденсаторах и обратной связью (ОС) на основе автономного инвертора напряжения (АИН) с синусоидальной (ШИМ), а также его некомпенсированного варианта. Схема компенсированного выпрямителя показана на рис. 1.

Физическая модель включала два выпрямительных блока 1, 2, состоявших из преобразовательных трансформаторов 3, 4 и диодных мостов 5, 6. Компенсирующее устройство 7 содержало однофазные реакторы 8 с выводом от средней точки и конденсаторные батареи 9 переменной емкости. В качестве нагрузки использовалась активно-индуктивная нагрузка 10 с изменяемым активным сопротивлением. Вход АИН 12 (трехфазный IGBT-мост с обратными диодами 13, входной емкостью 14 и системой управления 15) подключался к цепи постоянного тока выпрямителя, а выход – к согласующему трансформатору 11 через низкочастотный Г-образный фильтр 16. Мощность установки – 10 кВт. Источником питания служила трехфазная сеть напряжением 380 В. Для изме-